المجلة الليبية لعلوم وتكنولوجيا البيئة

*Libyan Journal of Ecological & Environmental Sciences and Technology*(LJEEST)

*ISSN 2710-5237*

*www.srcest.org.ly/jou*

# دراسة الخصائص الكيميائية والفيزيائية والميكانيكية للحجر الجيري بسوكنة ومدى ملائمته للاستخدامات الصناعية

**صالح قنيفيد[1], محمد المدني*[2], عبدالله الحوينط[1], محمد الفالح[1], محمد جقلول[1], مسعودة الأسود[1], بدر السنوسي[1]**

**1 قسم هندسة التعدين – كلية الموارد الطبيعية – جامعة الجفرة – ليبيا**

**2 قسم هندسة المواد والتآكل– كلية الهندسة – جامعة سبها – ليبيا**

***المؤلف المراسل:** moh.ibrahim@sebhau.edu.ly

**الملخص**

أكدت دراسات البحوث الصناعية بوجود أحتياطي كبير من الحجر الجيري في منطقة سوكنة و إمكانية استخدامه في صناعة الأسمنت. و نظرا لأهمية هذا الخام و دخوله في عدة صناعات يأتي هذا البحث لدراسة مدى ملائمة الحجر الجيري المتوفر في منطقة سوكنة للإستخدام في صناعات مختلفة من خلال دراسة الخواص الفيزيائية والتي تشمل أختبار الكثافة و النفاذية، بالإضافة إلى دراسة الخواص الميكانيكية المتمثلة في اختبار إجهاد الضغط. كما توصلت هذة الدراسة الى التركيبة الكيميائية للحجر الجيري بإجراء بعض التحاليل الكيميائية بأستخدام تقنيتي حيود الأشعة السينية و التحليل الطيفي للأشعة السينية. أظهرت نتائج الاختبارات الفيزيائية أن نفاذية الحجر الجيري بمنطقة سوكنة عالية نسبيا، كما تعتبر الكثافة الظاهرية متوسطة وذلك وفق معايير الصخور والتربة لهندسة رسم الخرائط الجيولوجية. بينما بينت نتائج الاختبارات الميكانيكية أن مقاومة الحجر الجيري بمنطقة سوكنة لقوى الانضغاط أن صخور الحجر الجيري يمكن تصنيفها على أنها من الصخور الضعيفة إلى الصخور الضعيفة جدا. من خلال مقارنة نتائج الاختبارات الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية ومقارنتها بالمواصفات القياسية لاستخدامات الحجر الجيري في الصناعة وجد أنه بالإضافة إلى إمكانية استخدامها في صناعة الأسمنت, فإنه من الممكن استخدامها في صناعات أخرى منها صناعة العلف الحيواني والأسمدة الزراعية, وكذلك كمادة مساعدة في مصاهر الحديد والفولاذ، كما يمكن استخدامه كركام للخرسانة وكخلفية للخرسانة الأسفلتية وكذلك كمادة للأرضيات لبناء الطرق السريعة. وأيضا من الممكن أن يدخل في صناعة أحجار الزينة وذلك نظراً لتوفر بعض المواصفات فيه مثل قلة مسامية وامتصاصه للماء وقلة التشققات وجاذبية اللون وجماله. و عدم ملائمتها في صناعات أخرى مثل صناعة الزجاج و صناعة الجير.

## Studying the Limestone of Sawknah Region Physical, Chemical and Mechanical Properties for Suitability for Industrial Uses

Salah A. Gnefid[i], Mohammed A. Al-Madani[2], Abdallh A. Lhwaint[i], Emhemad A. Al-Faleh[i], Mohamed A. Jaglol[i], Masouda A. Al-Aswad[i] & Bader K. Al-Sanousi[i]

1 Department of Mining Engineering – Faculty of Natural Resources – Al-Jufra University – Libya

2 Department of Materials and Corrosion Engineering – Faculty of Engineering – Sebha University – Libya

**Abstract:** Industrial research studies have confirmed the existence of a large reserve of limestone in the Sawknah region and its potential use in cement production. Due to the importance of this raw material and its incorporation into several industries, this research aims to study the suitability of the available limestone in the Sawknah area for use in various industries. This will be achieved by studying the physical properties, including density and permeability tests, as well as investigating the mechanical properties through compressive strength testing. Moreover, this study has determined the chemical composition of the limestone by conducting chemical analyses using X-ray diffraction and X-ray spectroscopy techniques. The results of the physical tests have shown that the permeability of the limestone in the Sawknah

ARTICLE INFO

***Vol. 2 No. 1 Dec, 2024***

Pages (10- 19)

*Article history:*

Revised form 07 December 2023

Accepted 31 January 2024

*Mohammed A. Al-Madani[1], Saleh A. Gnefid[2], Abdallh A. Lhwanit[2], Ahmed A. Lashlem[2], Emhemad A. Al-Faleh[2], Mohammed A. Jagloul[2], Masouda A. Alaswad[2], Bader K. Al-Sanusi[2].*

*1 Department of Materials and Corrosion Engineering – Faculty of Engineering – Sebha University – Libya*

*2, 3 Department of Mining Engineering – Faculty of Natural Resources – Al-Jufra University – Libya*

moh.ibrahim@sebhau.edu.ly

***Keywords:***

**Limestone, Chemical Properties, Physical Properties, Mechanical Properties, Standard Specifications.**

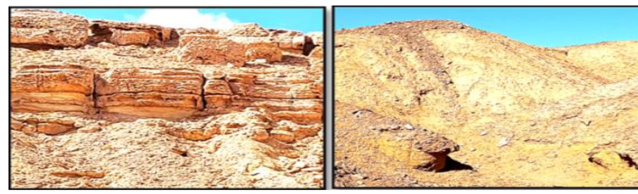
region is relatively high, while the apparent density falls within the average range according to the standards for rocks and soil in geological mapping engineering. On the other hand, the results of the mechanical tests have indicated that the compressive strength of the limestone in the Sawknah area classifies it as weak to very weak rocks. By comparing the results of the physical, chemical, and mechanical tests with the standard specifications for limestone use in the industry, it was found that in addition to its potential use in cement production, it can also be utilized in other industries such as animal feed manufacturing, agricultural fertilizers, and as an additive in iron and steel smelting. Moreover, it can be used as a pigment in concrete, as a base for asphalt concrete, and as a material for road construction. Additionally, it can be employed in the production of ornamental stones due to certain desirable characteristics, including low porosity, water absorption, cracking resistance, color attractiveness, and aesthetic appeal. However, it is not suitable for other industries such as glass and lime manufacturing.

## المقدمة

الحجر الجيري هو حجر رسوبي ناشئ من رواسب أحياء مائية متكلسة, وطبقا لطبيعته الجيولوجية فإنه يحتوي علي كميات متفاوتة من السيليكا على هيئة شوائب. للحجر الجيري استخدامات اقتصادية كثيرة كمادة للبناء، كمكون أساسي في الخرسانة (أسمنت بورتلاندي) لصبه في قاعدة الشوارع وكصبغة بيضاء أو حشو في منتجات مثل معجون الأسنان والأصباغ, وكمادة خام كيميائية لإنتاج الجير وكمحسن للتربة وأحجار زينة طبيعية في تزيين الحدائق. كما أن بعض طبقاته تكون مخازن تحت الأرض تختزن النفط والغاز الطبيعي. وهو الصخر الذي يستخلص منه الجير (Lime) ويطلق على الصخور التي تحتوى على 50٪ أو أكثر من الكالسيت (كربونات الكالسيوم) أو الدولوميت (كربونات الكالسيوم + كربونات المغنيسيوم) على أن تكون نسبة الكالسيت هي الغالبة, وعندما يحتوى على أكثر من 10% من الدولوميت يسمى بالحجر الجيري الدولوميتى .ويتزايد الطلب بصورة فائقة على الحجر الجيري عندما تزيد نسبة الكالسيت فيه عن 95٪, ويحتوى الحجر الجيري غالباً على بعض المعادن الغير كربونية مثل فتات البراكين وعلى حبيبات السيليكا أو الطين وعلى بقايا الأصداف والهياكل والعظام وأسنان الأسماك وعلى بعض المعادن الكربونية مثل الارجونيت. ويشكل الحجر الجيرى حوالي 20٪ من الصخور الرسوبية للقشرة الأرضية (بخيث 2007). يتحول الحجر الجيري نتيجة عمليات الحرارة والضغط إلى حجر الرخام الذي يتميز بصلابته وجمال ألوانه بحيث يستخدم كحجر من أحجار الزينة. يمثل الحجر الجيري الهيكل الأساسي لصناعة الأسمنت حيث يخلط مع المواد المعدنية اللافلزية التي تعد وتعالج كيميائياً. ويشكل الجير المادة الرئيسية في هذه الصناعة بحيث لا تقل نسبته عن 6٪. و يستخدم الحجر الجيري النقي لإنتاج هذه المادة الهامة لصناعة الزجاج وصناعة التنظيف والتطهير وتتم العملية بتفاعل ثاني أكسيد الكربون الناتج عن الكلسنة مع كلوريد الصوديوم والأمونيا. ويستخدم الحجر الجيري كمادة صهر حيث تحتوى خامات الحديد غالباً على مادة السيليكا و الأمونيا كشوائب، وتتم إزالتها بإضافة الحجر الجيري أو الجير كمادة رئيسية. وقد وجد أن (410 كجم) من الحجر الجيري مطلوبة لإنتاج طن واحد من الحديد **Error! Bookmark not defined.**(بخيث 2007). وهى صناعة متعارف عليها منذ قرون وفيها يعرض الحجر الجيري للحرق (الكلسنة) حيث يفقد ثاني أكسيد الكربون و 44٪ من وزنه مخلفاً وراءه أكسيد الكالسيوم (الجير الحي) وهو عبارة عن بودرة تدخل في كثير من الصناعات الكيميائية . وتحتاج هذه العملية إلى درجة حرارة تتراوح بين (1000م – 1100م) ومن أهم صفات الجير الحي قوة انجذابه للاتحاد بالماء مع إعطاء حرارة عالية وينتج من ذلك الجير المطفأ الذي يستخدم في صناعة مواد البناء وتثبيت المباني أو ككساء للمنازل، كذلك يستخدم في صناعة الزجـاج وصناعة الورق (بخيث 2007). يعد الحجر الجيري من أهم المعادن المستخدمة كحشوات معدنية في كثير من القطاعات لسهولة طحنه وقلة امتصاصه للزيوت وسرعة امتزاجه ولعدم تسببه في تآكل الأجهزة. كما يستخدم في صناعة لفات القار الخاصة بتغطية الأسقف وجدران الخزانات لعزلها عن التسرب. ويدخل الحجر الجيري في الصناعات البلاستيكية اللازمة لصناعة القوارب والسيارات وفى صناعة أدوات السباكة والكهرباء وقطع الأثاث وتستخدم بودرة الحجر الجيري الصلب في صناعة المطاط (بخيث 2007). العديد من تكوينات الحجر الجيري مسامية وقابلة للاختراق ، مما يجعلها خزانات نفطية مهمة (بن طاهر2020). وتحتوي خزانات الكربونات على حوالي ثلث احتياطيات النفط في جميع أنحاء (بوعر2006). تشكل تكوينات الحجر الجيري أيضًا مصادر شائعة لخامات المعادن ، لأن مساميتها ونفاذيتها، جنبًا إلى جنب مع نشاطها الكيميائي، تعزز ترسب الخام في الحجر الجيري والرصاص (بخيث 2007).

بينت الدراسات إمكانية استخدام الحجر الجيري بسوكنة كمواد خام لصناعة الأسمنت, وعليه تم إبرام عقد مع أحد الشركات من أجل أنشاء مصنع اسمنت في سوكنة بطاقة إنتاجية تقدر 1.5 مليون طن من الأسمنت سنويا. تقع منطقة الدراسة على بعد 32 كم شمال غرب مدينة سوكنة في

الجزء الغربي من الصدع الأخدودي لمنطقة سوكنة (الصدع الأخدودي هو نوع من الصدوع يتكون من مجموعة من الصدوع المركبة وتنشأ نتيجة حدوث صدعين متوازيين وهبوط ما بينهما مكونا منطقة صدعية), كما تقع كذلك على الجانب الشرقي من حوض الحمادة الحمراء (مؤسسة التعدين 2014). شكل (1) يبين صورة لمنطقة الدراسة والتي تحوي على خام الحجر الجيري.



**شكل رقم (1): خام الحجر الجيري بمنطقة سوكنة.**

## الدراسات السابقة

أجريت دراسة لتقييم إمكانية استخدام الحجر الجيري في منطقة أرحب باليمن في الصناعات المختلفة (Qaid.et.al2021). و أن الحجر الجيري يتكون بشكل رئيسي من كربونات الكالسيوم بنسبة تركيز 97.52 – 99.06 ٪. حيث أشارت البيانات الجيوكيميائية مع بيانات التحليلات الفيزيائية إلى أن الأحجار الجيرية في منطقة أرحب مناسبة لتكون مواد خام للصناعات الكيماوية المختلفة مثل الطلاء والأوراق، السيراميك والصلب والمنتجات الصيدلانية والبلاستيك بعد تعديل طفيف لأكاسيد الحديد في بعض الصناعات الخاصة.

أجريت دراسة على الحجر الجيري بمنطقتي سوق الخميس وزليتن – ليبيا. وكان الهدف من الدراسة التعرف على مدى ملائمة صخور الأحجار الجيرية بمنطقتي سوق الخميس وزليتن وذلك بمقارنة التحاليل الكيميائية بمنطقتي الدراسة مع المواصفات القياسية للاستخدامات الصناعية (بن طاهر2020). من خلال مقارنة نتائج الخواص الطبيعية والكيميائية و الميكانيكية المتحصل عليها سابقا من منطقتي سوق الخميس وزليتن تبين أن منطقة سوق الخميس تمتاز أحجارها الجيرية بنقاوة عالية وانخفاض لمعامل السيليكا ولكنها ذات كثافة أعلى و مسامية صخورها أقل مما يجعلها أكثر حاجة للمتفجرات من صخور الحجر الجيري بمنطقة زليتن التي تمتاز بنقاوة أقل ومعامل سيليكا أعلى. تحتاج الأحجار الجيرية بسوق الخميس لمعدل حفر أكبر للصخور لان صخورها ذات كثافة عالية. طبقا لنتائج التحاليل الكيميائية و مقارنتها مع المواصفات القياسية لبعض الاستخدامات الصناعية فإن الحجر الجيري بمنطقة زليتن تكون صالحة للاستخدام في الصناعات الكيميائية و صناعة الاسمنت البورتلاندي و كعامل صهر للحديد. أما بالنسبة للحجر الجيري بسوق الخميس تبين أنها صالحة للاستخدام كأحجار زينة وصناعة الزجاج وفي الخرسانة وأيضا يمكن أن تكون صالحة في صناعة الاسمنت بعد إن يتم معالجة الماغنيسيوم.

كما أجريت دراسة على خصائص الحجر الجيري لمنطقة بوكيت كيتري – تشوبينغ كانغر – برليس – ماليزيا (هويدي و اخرون 2018). وجد أن التركيب الكيميائي الأساسي للحجر الجيري هو عبارة عن أكسيد السيليكا بنسبة 97.58٪ كوزن, وتبين أن باقي التركيب الكيميائي هو عبارة عن أكسيد المنجنيز و أكسيد الألومنيوم وأكسيد الحديد الثنائي (الهيماتيت), من نتائج اختبارات حيود أشعة أكس منحنيات الكلسايت والكوارتز.

كذلك أجريت دراسة على بعض الخواص الفيزيائية لصخور الحجر الجيري تكوين كوميتان – منطقة دوكان – شمال شرق السليمانية – العراق, وتشير قيم نتائج الخواص الفيزيائية ، لعينات الحجر الجيري جميعها إلى صلاحيتها لأعمال البناء المختلفة ، كونها مطابقة لحدود مواصفات الخواص الفيزيائية للحجر الجيري بحسب المواصفات القياسية الأمريكية للفحص والمواد (الحداد واخرون 2017).

## المواصفات القياسية لأستخدامات الحجر الجيري في الصناعة

### المواصفات القياسية لأستخدامات الحجر الجيري في صناعة الزجاج

يستخدم الحجر الجيري في صناعة الزجاج كعامل صهر لرمل السليكا، و الجدول (1) يبين مواصفات لاستخدام الحجر الجيري في صناعة الزجاج (بوعر2006).

**جدول (1): مواصفات الحجر الجيري القياسية لصناعة الزجاج** (بوعر2006).

| رقم | أسم المركب الكيميائي | الرمز الكيميائي | النسبة المطلوبة (٪) |
|---|---|---|---|
| 1 | كربونات الكالسيوم | $CaCo_3$ | 98.5 < |
| 2 | أكسيد الحديد (الزجاج الملون) | $Fe_2O_3$ | 0.4 > |
| 3 | أكسيد الحديد (الزجاج الأبيض) | $Fe_2O_3$ | 0.1 < |
| 4 | أكسيد المغنيسيوم | MgO | 0.8 < |
| 5 | أكسيد الألومنيوم | $Al_2O_3$ | 35.0 > |
| 6 | أكاسيد غير ذائبة | - | 0.075 < |

### المواصفات القياسية لأستخدام الحجر الجيري في أفران صهر الحديد والفولاذ

يعتبر الحجر الجيري احد عوامل الصهر الرئيسية المستخدمة في صهر الحديد, حيث يتحلل الحجر الجيري في درجات الحرارة العالية إلى أكسيد الكالسيوم وثاني أكسيد الكربون، ويعمل أكسيد الكالسيوم على تخفيض درجة الأنصهار والوزن النوعي للخبث ويزيد من سيولته , جدول (2) يبين مواصفات الحجر الجيري المستخدم كعامل صهر (بوعر2006).

**جدول (2) مواصفات الحجر الجيري القياسية كعامل صهر** (بوعر2006).

| رقم | أسم المركب الكيميائي | الرمز الكيميائي | النسبة المطلوبة (٪) |
|---|---|---|---|
| 1 | أكسيد المغنيسيوم | MgO | 51.0 > |
| 2 | أكسيد الألومنيوم | $Al_2O_3$ | 02.0 < |
| 3 | أكسيد البوتاسيوم + أكسيد الصوديوم | $K_2O+Na_2O$ | 01.0 < |
| 4 | الكبريت | S | 00.6 < |
| 5 | الكلوريد | Cl | 01.0 < |
| 6 | أكسيد الفسفور | $P_2O_5$ | 0.05 < |

### المواصفات القياسية لأستخدام الحجر الجيري في أنتاج الجير

يستخدم الحجر الجيري في إنتاج الجير والجدول (4.3) يوضح المعايير الكيميائية لإنتاج الجير الذي يتم إنتاجه بحرق الحجر الجيري في أفران عمودية أو دوارة وتحميصه بين درجة حرارة (950 – 1050 درجة مئوية)حيث تتحلل كربونات الكالسيوم إلى أكسيد الكالسيوم وثاني أكسيد الكربون على النحو التالي:

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$ ]**Error! Bookmark not defined.**[.

جدول (3) يبين مواصفات الحجر الجيري المستخدم في صناعة الجير (بوعر2006).

**جدول (3): مواصفات استخدام الحجر الجيري في صناعة الجير ]Error! Bookmark not defined.[**

| رقم | أسم المركب الكيميائي | الرمز الكيميائي | النسبة المطلوبة (٪) |
|---|---|---|---|
| 1 | أكسيد الكالسيوم | CaO | 98.00 - 93.29 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 2 | أكسيد المغنيسيوم | MgO | 2.50 - 0.30 |
| 3 | أكسيد السيليكون | $Si_2O$ | 1.50 - 0.20 |

## المواصفات القياسية لاستخدام الحجر الجيري في صناعة العلف الحيواني والأسمدة الزراعية

يستخدم الحجر الجيري أيضا كمادة مغذية للحيوانات وبالذات الدواجن ويجب أن تتوافر في الحجر الجيري المواصفات القياسية المبينة في الجدول (4) ليتم استخدامه كعلف حيواني (بوعر2006). ويقوم الحجر الجيري بتخفيض حموضة التربة ويوفر الكالسيوم الضروري لنمو النبات ويجب أن يحتوي خام الحجر الجيري المثالي للزراعة على النسب الكيميائية الموضحة بالجدول (5) (بوعر2006).

جدول (4): مواصفات الحجر الجيري في صناعة العلف الحيواني (بوعر2006).

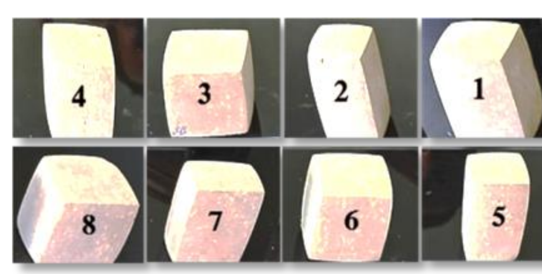
| رقم | أسم المركب الكيميائي | الرمز الكيميائي | النسبة المطلوبة (%) |
|---|---|---|---|
| 1 | أكسيد الكالسيوم | CaO | 53 < |
| 2 | النحاس + الرصاص | Cu + Pb | 0 |
| 3 | أكسيد الألومنيوم + أكسيد الحديد + أكسيد السيليكون | $Al_2O_3$ + $Fe_2O_3$ + $Si_2O$ | اقل نسبة |

جدول (5): مواصفات الحجر الجيري في صناعة الأسمدة الزراعية (بوعر2006).

| رقم | أسم المركب الكيميائي | الرمز الكيميائي | النسبة المطلوبة (%) |
|---|---|---|---|
| 1 | أكسيد الكالسيوم | CaO | 53 > |
| 2 | نسبة الرطوبة | - | 2 > |

## الاختبارات ومناقشة النتائج

نتائج اختبارات الخواص الفيزيائية للحجر الجيري بمنطقة سوكنة كالكثافة الظاهرية وهي النسبة بين كتلة المادة إلي كتلة وحدة الحجم, ومتضمن حجم المادة الصلبة و حجم الفراغات الموجودة في الكتلة. الكثافة الظاهرية لكل عينة من عينات الحجر الجيري الموضحة في الشكل (2) مبينة في الجدول (6).




شكل (2): عينات من الحجر الجيري لمنطقة سوكنة

جدول (7) يبين متوسط الكثافة الظاهرية للحجر الجيري بمنطقة سوكنة وكذلك قيم الكثافة الظاهرية للحجر الجيري بكلا من منطقتي زليتن وسوق الخميس Error! Bookmark not defined.(بن طاهر2020). من خلال النتائج في الجدول وكذلك المخطط البياني للشكل (3) نلاحظ أن متوسط الكثافة الظاهرية للحجر الجيري بمنطقة سوكنة تساوي 2.12 كيلوجرام \ متر مكعب, و الكثافة الظاهرية للحجر الجيري بمنطقتي زليتن و سوق الخميس تساوي 2.30 و 2.64 كيلوجرام \ متر على التوالي. وبمقارنة النتائج يتضح أن الكثافة الظاهرية للحجر الجيري بمنطقة سوكنة اقل بنسبة حوالي 8% عن الكثافة الظاهرية للحجر الجيري بمنطقة زليتن, وبنسبة حوالي 20% عن الكثافة الظاهرية للحجر الجيري بمنطقة سوق الخميس. وتعتبر الكثافة الظاهرية متوسطة حسب تصنيف الصخور والتربة لهندسة رسم الخرائط الجيولوجية (Anon1979).

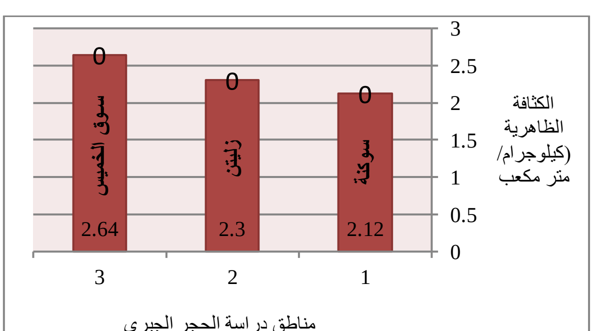
جدول (6): نتائج الكثافة الظاهرية والوزن النوعي للحجر الجيري بمنطقة سوكنة.

| رقم العينة | الوزن (جرام) | المساحة السطحية (ملم²) | الحجم (ملم³) | الكثافة x10³ (جرام\م³) | الكثافة الظاهرية (كجم\م³) | الوزن النوعي |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 86 | 7045.00 | 38640 | 2.226 | 2225.7 | 2.2323 |
| 2 | 59 | 5678.25 | 27025 | 2.183 | 2138.2 | 2.1446 |
| 3 | 80 | 7165.75 | 44030 | 1.817 | 1816.9 | 1.8224 |
| 4 | 69 | 6267.50 | 36000 | 1.917 | 1916.7 | 1.9224 |
| 5 | 76 | 5417.00 | 31850 | 2.386 | 2386.2 | 2.3937 |
| 6 | 107 | 8002.75 | 54600 | 1.960 | 1959.7 | 1.9656 |
| 7 | 75 | 6527.00 | 31031 | 2.417 | 2416.9 | 2.4242 |
| 8 | 140 | 9358.25 | 68724 | 2.037 | 2037.1 | 2.0433 |

النفاذية هي خاصية من خصائص الصخور وهي دليل على قدرة السوائل (أو الغازات) على التدفق خلال الصخور. تتيح النفاذية العالية للسوائل التحرك باستمرارية خلال الصخور. أما وحدة قياس النفاذية فهي, دارسي. تتراوح نفاذية الصخر الرملي من أقل من 1 حتى 50,000 مللي دارسي, فالنفاذية عموماً تتراوح بين عشرات إلى مئات المللي دارسي. إذا كانت صخرة ذات مسامية بنسبة 25٪ ونفاذيتها 1 ميلي دارسي، فإنها لن تنتج تدفقاً كافياً للماء. و لقياس النفاذية يمكن استخدام قانون دارسي, وهو يمثل علاقة طردية بسيطة بين معدل التصريف لحظياً من خلال وسط يسهل اختراقه، ولزوجة السائل وانخفاض ضغطه على مسافة معينة (الحداد واخرون 2017).

جدول (7) مقارنة الكثافة الظاهرية للحجر الجيري بمناطق سوكنة وزليتن وسوق الخميس.

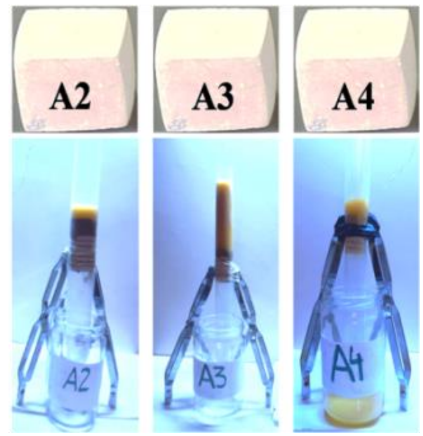
| رقم | منطقة الدراسة | الكثافة الظاهرية للحجر الجيري (كيلوجرام/متر مكعب) |
|---|---|---|
| 1 | سوكنة | 2.12 هذا البحث |
| 2 | زليتن | 2.30 (الحداد واخرون 2017). |
| 3 | سوق الخميس | 2.64 (الحداد واخرون 2017). |




شكل (3): الكثافة الظاهرية للحجر الجيري بمنطقة سوكنة وزليتن وسوق الخميس.

$$Q = \frac{-K A \,°\Delta P}{\mu L}$$ [Error! Bookmark not defined.]

حيث أن $Q$ معدل تدفق السائل (سم3 \ ث), $K$ النفاذية (سم\ث), $\mu$ لزوجة السائل (نيوتن \ سم2.ث), $\Delta P$ الفرق في الضغط من نقطة البداية والنهاية أو خروج السائل (نيوتن \ سم2), $A$ مساحة مقطع العينة (سم مربع), $L$ طول العينة (سم). من أجل اختبار نفاذية الحجر الجيري تم تجهيز ثلاث عينات من الحجر الجيري رقم A2 و A3 و A4 بحجم 28.83 سم كما هو موضح بالشكل (4).

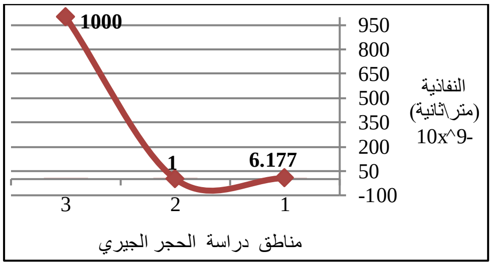



**شكل (4): تجربة اختبار نفاذية عينات الحجر الجيري بمنطقة سوكنة.**

من أجل اختبار نفاذية الحجر الجيري تم تجهيز ثلاث عينات من الحجر الجيري بحجم 28.83 سم مكعب كما هو موضح بالشكل (4). جدول (8) يبين متوسط النفاذية للحجر الجيري بمنطقة سوكنة وكذلك قيم النفاذية للحجر الجيري بكلا من منطقتي زلتين وسوق الخميس **Error! Bookmark not defined.**(بن طاهر2020) من خلال النتائج في الجدول وكذلك المخطط البياني للشكل (5) نلاحظ أن متوسط النفاذية للحجر الجيري بمنطقة سوكنة تساوي: 6.177x10^-9 متر \ ثانية, و النفاذية للحجر الجيري بمنطقتي زلتين و سوق الخميس تساوي: 1.000x10^-9 متر\ثانية و 1.000x10^-6 متر\ثانية على التوالي. وبمقارنة النتائج يتضح أن نفاذية الحجر الجيري بمنطقة سوكنة تقريبا مساوية لنسبة نفاذية الحجر الجيري بمنطقة زلتين, بينما تقل بنسبة كبيرة تقدر بـ 10^3 مرة عن نفاذية الحجر الجيري بمنطقة سوق الخميس. وعليه يستخلص أن نفاذية الحجر الجيري لمنطقة سوكنة عالية نسبيا, وحيث أن للنفاذية علاقة عكسية مع المسامية (Elfigih.et.al 2017), فإن مسامية الحجر الجيري لمنطقة سوكنة تعتبر قليلة.

**جدول (8): مقارنة النفاذية للحجر الجيري بمنطقة سوكنة وزليتن و سوق الخميس.**

| | منطقة الدراسة | الكثافة الظاهرية للحجر الجيري (كيلوجرام/متر مكعب) |
|---|---|---|
| 1 | سوكنة | 6.177 x 10^-9 هذا البحث |
| 2 | زليتن | مرجع ] Error! Bookmark not defined.[1.000 x 10^-9 |
| 3 | سوق الخميس | مرجع ] Error! Bookmark not defined.[1.000 x 10^-6 |



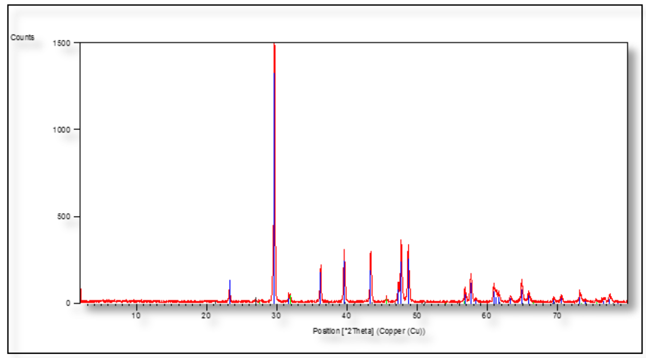

**شكل (3): نفاذية الحجر الجيري بمنطقة سوكنة وزليتن وسوق الخميس.**

## نتائج اختبارات الخواص الكيميائية للحجر الجيري بمنطقة سوكنة

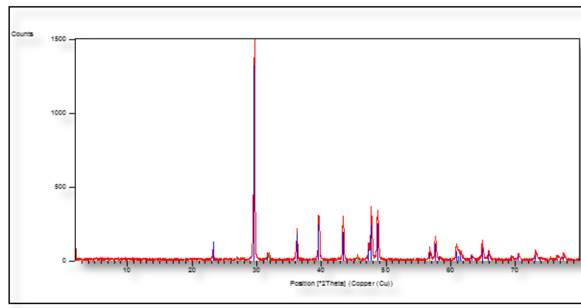
تم أجراء التحاليل الكيميائية باستخدام تقنيتي حيود الأشعة السينية (XRD) وكذلك تحاليل الطيفية للأشعة السينية (XRF), كما هو موضح في الشكل (6-أ) و (6-ب). يتضح أن متوسط نسبة أكسيد الكالسيوم الموجودة في عينة الحجر الجيري بمنطقة الدراسة حوالي 45٪, ونسبة أكسيد السيليكون حوالي 9٪, ونسبة الكلور حوالي (2.24٪). ونسبة النحاس حوالي (0.0806٪), ونسبة الرصاص (0.0303٪), أما نسبة الكبريت (0.916٪). وبمقارنة هذه النتائج مع المواصفات القياسية لاستخدام الحجر الجيري في الصناعة, يتضح جليا أن الحجر الجيري بمنطقة سوكنة بالإضافة إلى إمكانية استخدامه في صناعة الأسمنت, فإنه من الممكن استخدامه أيضا كعامل صهر نظرا لأن نسبة أكسيد الكالسيوم به أقل من 51٪, وكذلك يصلح لاستخدامه في الزراعة نظرا لأن نسبة أكسيد الكالسيوم به أقل من 53٪, ومن الجدير ذكره أن الحجر الجيري لمنطقة سوكنة لا يصلح لصناعة الجير حيث أن متوسط نسبة أكسيد الكالسيوم به لا تتجاوز 45٪, بينما توصي المواصفات القياسية الكيميائية انه لاستخدام الحجر الجير في صناعة الجير يجب أن يحتوي على نسبة أكسيد الكالسيوم تتراوح مابين حوالي (92 – 98٪). أيضا من خلال المقارنة بالمواصفات القياسية الكيميائية, فإن الحجر الجيري بمنطقة سوكنة لا يصلح لصناعة الزجاج نظرا إلى أن المواصفات القياسية الكيميائية توصي بأن لا تقل نسبة كربونات الكالسيوم عن 89.5٪, ووجد أن الحجر الجيري بسوكنة يحتوي في بعض الأماكن على نسبة تصل إلى 89٪ من كربونات الكالسيوم ولكن في المتوسط يحتوي فقط على نسبة لا تتجاوز 80٪. يمكن أن تكون هناك استخدامات أخرى للحجر الجيري بمنطقة سوكنة, حيث انه من المحتمل أنه يصلح كركام للخرسانة وكخلفية للخرسانة الأسفلتية وكذلك كمادة للأرضيات لبناء الطرق السريعة. وأيضا من الممكن أن يدخل في صناعة أحجار الزينة وذلك نظراً لتوفر بعض المواصفات فيه مثل قلة مساميته وامتصاصه للماء وقلة التشققات وجاذبية اللون وجماله. جدول (9) والأشكال (8.أ و 8.ب و 8.ت و 8.ج و8.ح) تبين ملخص ومخطط التحليل الكيميائي لعينات الحجر الجيري بمنطقة سوكنة باستخدام تقنية حيود الأشعة السينية.

**جدول (9): ملخص التحليل الكيميائي للحجر الجيري بمنطقة سوكنة باستخدام تقنية حيود الأشعة السينية (XRD).**

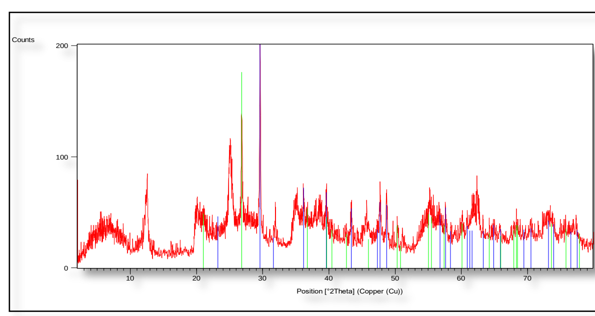
| أسم الفلز | أسم المركب الكيميائي | الصيغة الكيميائية | النسبة (٪) |
|---|---|---|---|
| الكالسيت | كربونات الكالسيوم | $CaCO_3$ | 80 |
| الهاليت | كلوريد الصوديوم | $NaCl$ | 8.0 |
| الكوارتز | أكسيد السيليكون | $SiO_2$ | 8.8 |
| الألكايت | كربونات (كالسيوم+ماغنيسيوم + حديد) | $Ca1.01Mg0.45 Fe0.54(CO_3)_2$ | 5.3 |
| الجبس | هيدريت سلفات الكالسيوم | $Ca(SO_4)(H_2O)_2$ | 9.0 |



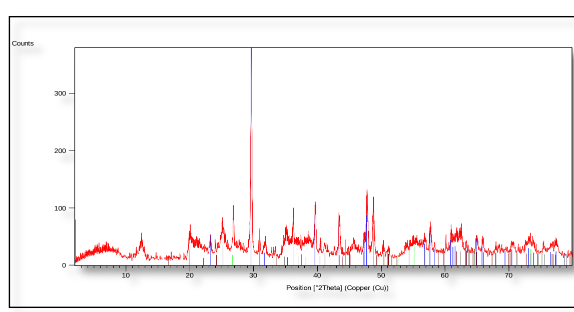

شكل (8أ): **مخطط التحليل الكيميائي للعينة 1 من الحجر الجيري بمنطقة سوكنة باستخدام تقنية تحليل حيود الأشعة السينية (XRD).**



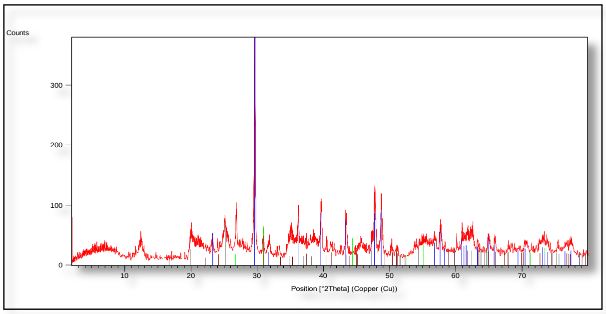

شكل (8ب): **مخطط التحليل الكيميائي للعينة 2 من الحجر الجيري بمنطقة سوكنة باستخدام تقنية تحليل حيود الأشعة السينية (XRD).**




شكل (8ث): **مخطط التحليل الكيميائي للعينة 3 من الحجر الجيري بمنطقة سوكنة باستخدام تقنية تحليل حيود الأشعة السينية (XRD).**

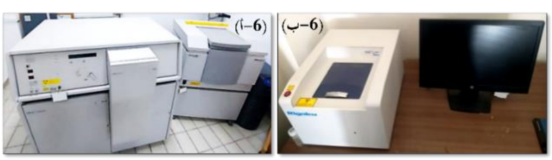



شكل (8ج): **مخطط التحليل الكيميائي للعينة 4 من الحجر الجيري بمنطقة سوكنة باستخدام تقنية تحليل حيود الأشعة السينية (XRD).**




شكل (8ح): **مخطط التحليل الكيميائي للعينة 5 من الحجر الجيري بمنطقة سوكنة باستخدام تقنية تحليل حيود الأشعة السينية (XRD).**

في هذا البحث تم دراسة التركيب الكيميائي للحجر الجيري لمنطقة الدراسة باستخدام تقنية التحليل الطيفي للأشعة السينية. تم إجراء تحليل عينة الحجر الجيري لمنطقة الدراسة في معمل قسم الكيمياء– كلية العلوم – جامعة سبها. بالإشارة إلى المواصفات القياسية الكيميائية لاستخدام الحجر الجيري, توضح نتائج التحليل الطيفي للأشعة السينية كما في جدول (10) أن النسبة المئوية الأعلى هي الكالسيوم (33.1٪), والنسبة التالية الأعلى هي السيليكون, علما أن تأكسد السيليكون يعطي الكوارتز, وتم تأكيد وجود الكوارتز من نتائج حيود الأشعة السينية. وكانت نسبة الكلور في عينة الحجر الجيري لمنطقة الدراسة (2.24٪). وكانت نسبة النحاس (0.0806٪), ونسبة الرصاص (0.0303٪), ونسبة الكبريت (0.916٪). . شكل (11) يبين مخطط التحليل الكيميائي لعينة الحجر الجيري بمنطقة سوكنة باستخدام تقنية التحليل الطيفي للأشعة السينية. شكل (8) يبين مخطط نتائج التحليل الطيفي للأشعة السينية لعينات الحجر الجيري بمنطقة سوكنة.

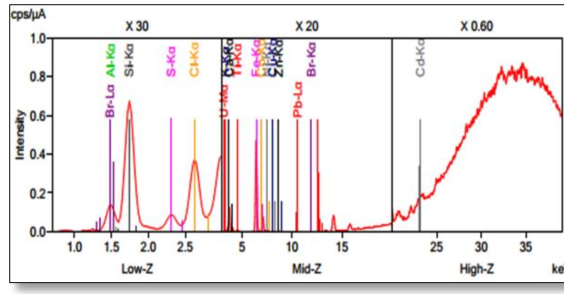



شكل (6-أ) و(6-ب): **جهاز حيود الأشعة السينية (XRD) وجهاز التحاليل الطيفية للأشعة السينية (XRF),**

جدول (10): **نتائج التحليل الطيفي للأشعة السينية (XRF) للحجر الجيري.**

| الرقم المتسلسل | أسم العنصر الكيميائي | الرمز الكيميائي | النسبة % |
|---|---|---|---|
| 1 | الكالسيوم | Ca | 33.1 |
| 2 | السيلكون | Si | 26.6 |
| 3 | الحديد | Fe | 19.3 |
| 4 | الألمنيوم | Al | 12.5 |
| 5 | البوتاسيوم | K | 2.64 |
| 6 | الكلور | Cl | 2.24 |
| 7 | التيتانيوم | Ti | 2.21 |
| 8 | الكبريت | S | 0.916 |
| 9 | النيكل | Ni | 0.228 |
| 10 | الكوبالت | Co | 0.111 |
| 11 | النحاس | Cu | 0.0806 |
| 12 | الزنك | Zn | 0.0671 |
| 13 | اليورانيوم | U | 0.0402 |
| 14 | القصدير | Pb | 0.0303 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 15 | الكادميوم | Cd | 0.0115 |
| 16 | البروليوم | Br | 0.0063 |




**شكل (8): مخطط التحليل الكيميائي للحجر الجيري بمنطقة سوكنة باستخدام تقنية التحليل الطيفي للأشعة السينية (XRF).**

## نتائج اختبارات الخواص الميكانيكية للحجر الجيري بمنطقة سوكنة

مقاومة أجهاد الضغط هي قدرة الصخور على تحمل الإجهاد قبل الانكسار, فعندما تكون القوة عمودية, وعندما تتعدى القوة الضاغطة قوة تحمل العينة فإن العينة تنكسر, ولحساب مقاومة العينة لإجهادات الضغط يتم استخدام المعادلة التالية (الحارثي 2021) :

$$\text{مقاومة أجهاد الضغط النهائي} = \frac{\text{kN جهد أنهيار العينة}}{m^2 \text{ المساحة السطحية للعينة}} \quad \text{(الحارثي 2021).}$$

جدول (11) يبين نتائج اختبارات الضغط لعينات الحجر الجيري لمنطقة سوكنة, حيث أنه تم اختيار عينتان (عينة رقم 7 و 8) من العينات الموضحة في الشكل رقم (2). شكل (9) يوضح جهاز اختبارات الضغط وعينات الحجر الجيري أثناء إجراء اختبار الضغط. علما بأن اختبارات الضغط للعينتين تم أجرائها في معمل الإختبارات الميكانيكية قسم الهندسة المدنية بكلية الهندسة بجامعة الشاطئ.

جدول (11): نتائج اختبارات الضغط لعينات الحجر الجيري لمنطقة سوكنة.

| رقم متسلسل | المساحة السطحية للعينة (سم²) | حمل انهيار العينة (كيلونيوتن) | مقاومة العينة للضغط (ميغاباسكال) | متوسط مقاومة العينة للضغط (ميغاباسكال) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 07.360 | 5.7 | 7.74 | 5.725 |
| 2 | 15.355 | 5.7 | 3.71 | |



**شكل (9): جهاز اختبارات الضغط وعينات الحجر الجيري أثناء إجراء اختبار الضغط**

جدول (12) يبين تقدير أقصى مقاومة ضغط للصخور عن طريق الاختبارات الميدانية (Isrm1979) , من خلال هذا الجدول, وحيث أن متوسط أقصى مقاومة ضغط للحجر الجيري بمنطقة سوكنة تساوي (5.725 ميغا باسكال), فإنه يمكن أن نصنف هذا الحجر الجيري على أنه من الصخور الضعيفة جدا إلى الصخور الضعيفة.

**جدول (12): تقدير أقصى مقاومة ضغط للصخور عن طريق الاختبارات الميدانية (Isrm1979).**

| التصنيف | الوصف | أقصى مقاومة ضغط للصخور (ميغا باسكال) |
|---|---|---|
| R0 | صخور ذات مقاومة ضعيفة لأقصى حد | 0.25 – 0.10 |
| R1 | صخور ضعيفة بدرجة كبيرة | 1.0 – 5.0 |
| R2 | صخور ضعيفة | 5.0 – 25 |
| R3 | صخور ذات مقاومة متوسطة | 25 – 50 |
| R4 | صخور ذات مقاومة كبيرة | 50 – 100 |
| R5 | صخور ذات مقاومة كبيرة جدا | 100 – 250 |
| R6 | صخور ذات مقاومة لأقصى حد | أكبر من 250 |

## الخلاصة

أظهرت نتائج تحاليل حيود الأشعة السينية و التحليل الطيفي للأشعة السينية للحجر الجيري بمنطقة سوكنة أن المكون السائد هو الكالسيت (كربونات الكالسيوم), وبلغت نسبته في بعض المواقع التي أخذت منها العينات إلى 95 %, وهذا يدل على احتواءه على درجة نقاوة عالية أما المواد الطينية والتي تشمل أكسيد السيليكون فقد كان محتواها ضمن الحدود المقبولة حيث بلغت أعلى نسبة 12 %. بالإضافة إلى ذلك تواجدت معادن الهاليت و الأنكريت والجبس بنسب قليلة.

أظهرت نتائج الاختبارات الفيزيائية أن الكثافة الظاهرية للحجر الجيري بمنطقة سوكنة أقل من تلك التي في الحجر الجيري بمنطقتي زليتن وسوق الخميس, وتعتبر الكثافة الظاهرية متوسطة وذلك حسب تصنيف الصخور والتربة لهندسة رسم الخرائط الجيولوجية – الجزء الأول. أظهرت نتائج الاختبارات الفيزيائية أن نفاذية الحجر الجيري بمنطقة سوكنة عالية نسبيا, وبناء عليه فإن مساميته تعتبر قليلة نسبياً.

أظهرت نتائج الاختبارات الميكانيكية أن مقاومة الحجر الجيري بمنطقة سوكنة لقوى الانضغاط أن صخور الحجر الجيري يمكن تصنيفها على أنها من الصخور الضعيفة إلى الصخور الضعيفة جدا.

من خلال مقارنة نتائج الاختبارات الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية ومقارنتها بالمواصفات القياسية لاستخدامات الحجر الجيري في الصناعة على أنه بالإضافة إلى إمكانية استخدامها في صناعة الأسمنت, فإنه من الممكن استخدامها في صناعات أخرى تشمل: استخدامها في صناعة العلف الحيواني والأسمدة الزراعية, وكذلك كمادة مساعدة في مصاهر الحديد والفولاذ.

تؤكد هذه الدراسة على ضرورة الاهتمام بالحجر الجيري المحلي بصفة عامة, وبالحجر الجيري الواقع في نطاق منطقة سوكنة بصورة خاصة, والمتوفر بكميات اقتصادية مع جودة عالية تلبي العديد من الصناعات القائمة حاليا على الاستيراد. تشدد الدراسة على التوسع في استخدام الحجر الجيري في صناعات أخرى وعدم اقتصاره على صناعة الأسمنت فقط, بل يمكن أن تدرس أمكانية إنشاء مصانع أخرى تدعم الاقتصاد الوطني. كما نوصي بإجراء بعض الأختبارات الأخرى والتي لم يتم أجرائها لعدم توفر الأجهزة والمعدات اللازمة مثل أختبار مدي قابلية الحجر الجيري لأمتصاص الماء, وكذلك تحليل المنخل للحجر الجيري الجاف والجير الحي والجير المطفأ.

## الشكر وتقدير

* الأستاذ سليمان محمد البهلول, رئيس قسم التحليل الألي, معهد النفط الليبي – طرابلس.

* الأستاذ محمد نصر, أخصائي تحليل حيود الأشعة السينية, معهد النفط الليبي – طرابلس.
* مهندس منصور محمد,أخصائي التحليل الطيفي للأشعة السينية,كلية العلوم–جامعة سبها.
* مهندس أحمد البركولي, أخصائي الاختبارات الميكانيكية, جامعة الشاطئ, براك – الشاطئ.

## المرجع:

أحلام بن طاهر, (2020), دراسة الخواص الفيزيائية والكيميائية للحجر الجيري بمنطقتي زليتن وسوق الخميس, قسم هندسة التعدين, كلية الهندسة, جامعة طرابلس, طرابلس. ليبيا.

المؤسسة الوطنية للتعدين (م. و. ت.), (2014), دراسة جدوى مشروع مصنع اسمنت سوكنه, الجفرة , المؤسسة الوطنية لتعدين فرع الجفرة, (دراسة محمية).

بوعر, (2006), مبادئ علم الرواسب والطبقات الطبقية, (الطبعة الرابعة), نمر السرج العلوي ، نيوجيرسي: برنتيس هول, ض. رقم177, 181. ISBN:0131547283

حسن بخيت, (2007), كل شيئ عن الحجر الجيري, المجلس الاستشارى العربى للتعدين والبترول والموارد الطبيعية الأساسية, أتحاد الجيولوجيين, بوابة العرب للثروات الطبيعية, http://kenanaonline.com/users/hasan/posts/62047.

خالد الحداد، مصطفى حسين، أحمد عبدالباسط., (2017), دراسة بعض الخواص الفيزيائية لصخور الحجر الجيري تكوين كوميتان, منطقة دوكان, شمال شرق السليمانية – العراق.

رجب هويدي , تانغو أزهر , فرح سعفي, (2018), دراسة خصائص الحجر الجيري لمنطقة, بوكيت كيتري, تشوبينغ كانغر, برليس, ماليزيا.

عباس بن عيفان الحارثي, (2021), مقرر الخواص الهندسية للصخور, جامعة الملك عبدالعزيز, كلية علوم الأرض, قسم الجيولوجيا الهندسية والبيئة. aalharthi@kau.edu.sa

Anon, (1979), Classification of Rock and Soils for Engineering Geological Mapping, Part1- Rock and Soil Materials. Report of the Commission of Engineering Geological Mapping, *Bulletin international Association of Engineering Geology, vol. 19, 364-371.*

ISRM, (1979), Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 36: 279-289.*

Elfigih, et. al., (2017), Porosity-Permeability Relationships in the Early Oligocene Algal Limestone Member of Wadi Al Buwayrat, Tansolukh Area, Al, Department of Earth Sciences, Faculty of Science University of Benghazi, *Benghazi-Libya, International Journal of Petroleum and Petrochemical Engineering (IJPPE), Volume 3, Issue 1, PP 7-21.*

Qaid, et. al., (2021), Physical and Geochemical Assessment of Limestone of Amran Group in Arhab Area-North Sana'a for Industrial Uses, Dep. of Civil Engineering technology, Al-Hajar (Qabitah) Community College/ Lahj, *Technium Bio-ChemMed Vol. 2, Issue 2 pp.28-38, ISSN: 2734-7990.*